

УДК: 621.941

С.Ан. Клименко, канд. техн. наук,
А.Г. Найденко, канд. техн. наук, А.О. Чумак, Киев,
Н.Н. Белоусова, Житомир, Украина

ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТОПОГРАФИИ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ИЗНОС РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ (ОБЗОР)

В работе представлен обзор исследований, посвященных изучению влияния особенностей топографии рабочих поверхностей инструментов на основные параметры процесса резания, рассмотрены механизмы изнашивания, показана возможность повышения стойкости инструментов за счет изменения высоты микронеровностей на их рабочих поверхностях.

Ключевые слова: топография поверхности, режущие инструменты, покрытие, обработка резанием, износ и стойкость инструментов.

У роботі представлений огляд досліджень присвячених вивченню впливу топографії робочих поверхонь інструменту на основні параметри процесу різання, розкриті механізми зносу, показані шляхи підвищення стійкості інструментів за рахунок зміни висоти мікронерівностей на робочих поверхнях інструменту.

Ключові слова: топографія поверхні, різальні інструменти, різання металу, знос, стійкість інструментів.

The paper presents a review of the studies devoted to the study of the influence of the topography of the working surfaces of tools on the main parameters of the cutting process, reveals the wear mechanisms, shows the ways to improve the tool life by changing the height of the microroughness on the working surfaces of the tool.

Key words: topography of the surface, tools, metal cutting, wear, resistant tools.

Введение

Режущие инструменты из высокопрочных композитов (поликристаллы на основе кубического нитрида бора, покрытия) широко используются в машиностроении в процессах механической обработки (Fe-C)-сплавов высокой твердости. Областью применения таких инструментов являются высокоскоростные процессы обработки, для которых одним из ключевых факторов, определяющих интенсивность изнашивания инструментов, является топография их рабочих поверхностей.

При обработке сталей высокой твердости инструменты, оснащенные поликристаллическими сверхтвердыми материалами на основе кубического нитрида бора (ПКНБ) могут работать со скоростями резания 120–300 м/мин [1–5]. Повышенные скорости резания ставят особые требования к качеству рабочих поверхностей такого режущего инструмента. В связи с этим, широко используются различные технологии финишной обработки контактных поверхностей режущих инструментов при их изготовлении. Особый интерес представляют технологические процессы шлифования, полирования, доводки.

Варьирование этими технологиями обработки позволяет на этапе формирования контактных поверхностей инструментов изменять свойства их поверхностного слоя. Что, в процессе работы, дает возможность обеспечить надежность инструмента в условиях высоких давлений, температур и скоростей.

В технической литературе представлены результаты изучения влияния таких параметров процесса резания как скорость и глубина резания, подача, геометрические параметры режущей части на стойкость инструмента и при этом сравнительно мало внимания уделено изучению влияния особенностей топографии поверхности инструмента на показатели процесса резания [6–8].

В данной работе предпринята попытка анализа результатов исследований посвященных изучению влияния топографии поверхности на процессе изнашивания инструмента для понимания явлений, происходящих в контактной зоне с целью совершенствования технологий производства режущих инструментов из ПКНБ и инструментов с покрытием.

Основной материал.

В работе [9] авторы представили результаты исследований посвященных увеличению стойкости режущих инструментов из ПКНБ при точении стали Inconel 718 в широком диапазоне скоростей резания 20–300 м/мин за счет изменения высоты микронеровностей на контактных поверхностях.

При этом авторы установили различия механизмов изнашивания инструментов при точении с низкой (20 м/мин) и высокой скоростями резания (100–300 м/мин). На рис. 1. показана передняя поверхность инструмента после прохождения 5, 15 и 25 м пути резания со скоростью резания 20 м/мин.

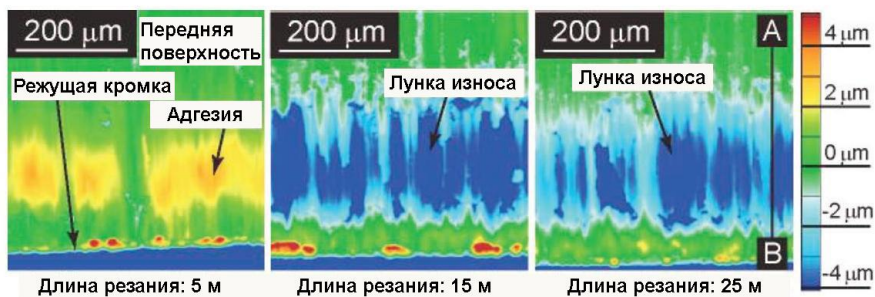


Рисунок 1 – 3-D изображение передней поверхности инструмента после прохождения пути резания 5, 15 и 25 м ($v = 25$ м/мин) [9]

Видно, что обрабатываемый материал интенсивно налипает на переднюю поверхность инструмента, а с увеличением длины резания наблюдается интенсивное изнашивание с образованием лунки по передней поверхности.

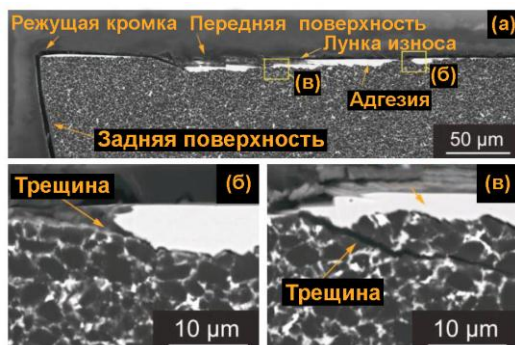


Рисунок 2 – SEM изображения контактной поверхности инструмента после точения с низкой скоростью резания [9]

Анализируя изображения на рис. 2, на которых представлен адгезионный слой обрабатываемого материала на передней поверхности инструмента, авторы пришли к выводу, что при низких скоростях резания в начальный период времени происходит адгезионное схватывание обрабатываемого и инструментального материалов, а затем в инструментальном материале генерируются трещины и при удалении адгезионного слоя происходит отслоение ослабленного участка инструмента.

В отличие от результатов, полученных при низкой скорости резания, при обработке с высокими скоростями авторы отмечают отсутствие адгезионного слоя на контактных поверхностях (рис. 3, 4), что связано с увеличением температуры резания.

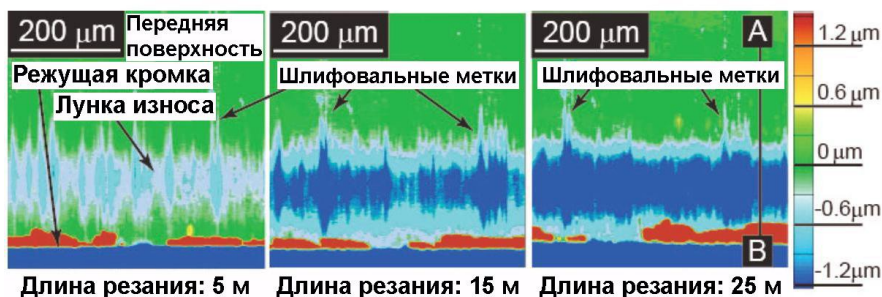


Рисунок 3 – 3-D изображение передней поверхности инструмента после прохождения длины пути 5, 15 и 25 м ($v = 100$ м/мин) [9]

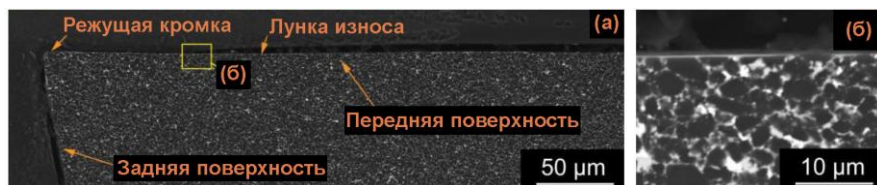


Рисунок 4 – SEM изображения контактной поверхности инструмента после высокоскоростного точения [9]

Методом EDX-анализа показана диффузия *Ni* из обрабатываемого материала и *N* из инструментального материала. По мнению авторов, эти результаты показывают, что механизмы изнашивания инструментов из ПКНБ полностью изменяются в зависимости от скорости резания, а диффузия из-за высокой температуры резания является доминирующей причиной износа при высоких скоростях резания.

Проведя анализ контактных поверхностей, авторы делают вывод, что при скорости более 100 м/мин образование лунки износа происходит по следам от процесса шлифования, оставленным при изготовлении инструмента (рис. 3).

Электронная микроскопия (рис. 5) показала, что в области следов от процесса шлифования происходит интенсивное налипание обрабатываемого материала, что способствует диффузии между материалами заготовки и инструмента с образованием лунки износа по передней поверхности инструмента.

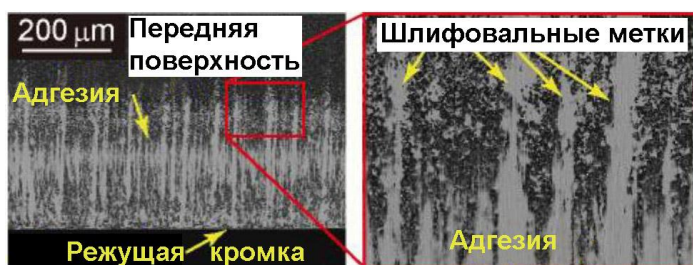


Рисунок 5 – Передняя поверхность и следы от процесса шлифования после точения (длина резания 25 м, $v = 100$ м/мин) [9]

Для исследований влияния особенностей топографии контактной поверхности на износ инструмента были использованы еще два типа инструментов из ПКНБ – первый, обработанный шлифовальным кругом, имел более гладкую переднюю поверхность по сравнению с обычным

инструментом, а контактные участки другого инструмента были отполированы до зеркального блеска и полного уничтожения следов от процесса шлифования.

В таблице показаны высотные параметры шероховатость поверхности инструментов.

Таблица – Характеристика контактных поверхностей используемых инструментов

Инструменты	Ra , нм	Rz , нм
Обычный	100	578
Шлифованный	54	260
Полированный	5	22

На рис. 6 представлены передние поверхности шлифованного и полированного инструментов в зависимости от длины пути резания.

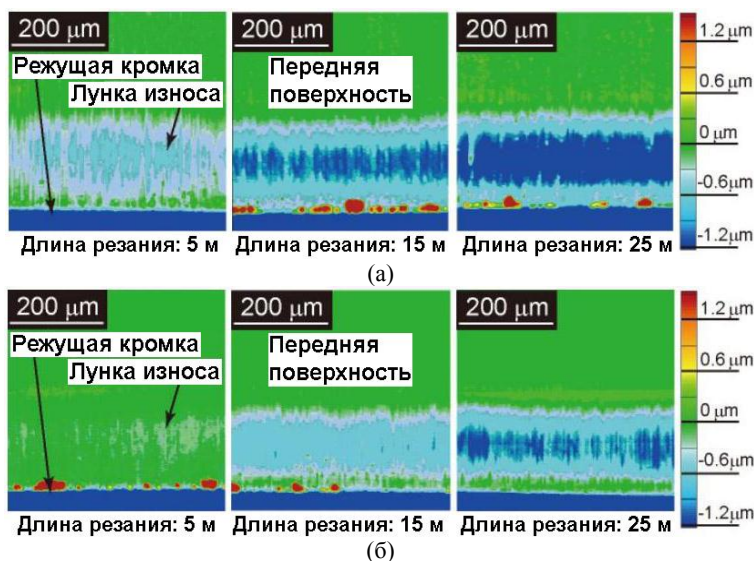


Рисунок 6 – 3-D изображение передней поверхности шлифованного (а) и полированного (б) инструментов ($v = 100$ м/мин) [9]

В отличие от обычного инструмента (рис. 3) на передней поверхности шлифованного и полированного инструмента (рис. 6 а, б) не наблюдается значительного локального износа. На рис. 7 показано изменение глубины лунки износа в зависимости от длины резания для инструментов с различным состоянием передней поверхности.

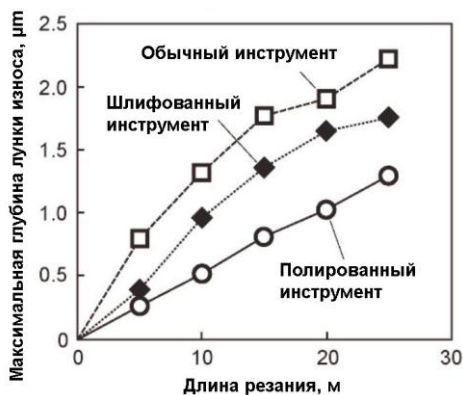


Рисунок 7 – Изменение максимальной глубины лунки износа по передней поверхности от длины пути резания для инструментов, контактные поверхности которых обработаны по различным технологиям [9]

На основе проведенных исследований авторы делают вывод о том, что для гладкой поверхности инструмента характерна меньшая интенсивность развития лунки износа по передней поверхности. Такой эффект достигается за счет снижения трения на контактных участках инструмента, а также предотвращения локальной адгезии между инструментальным и обрабатываемым материалами. По приведенным в работе данным полирование контактных поверхностей инструмента может повысить его стойкость до 40 %.

В работе [10, 11] представлены результаты исследований влияния топографических особенностей CVD-покрытия Al_2O_3 , нанесенного на твердосплавные инструменты, на трибологические характеристики контактной пары, полученные на машине трения и в процессе резания. Исходный образец имел шероховатость Ra 360 мкм, другие образцы полировались до шероховатости Ra 11,18 (A); Ra 5,47 (P1) и Ra 2,372 (P3) мкм. При испытаниях на машине трения авторы разделяют коэффициент трения на два компонента – адгезионный и деформационный. Полученные результаты показывают, что адгезионный компонент на начальных циклах испытаний имеет тенденцию к увеличению для более шероховатой поверхности из-за эффекта микросварки. В то же время вклад деформационного компонента снижается, поскольку трение происходит в паре «металл-металл». С увеличением времени трения наблюдается стабильный коэффициент трения, который соответствует паре «металл-металл» для исходных образцов покрытия Al_2O_3 . Для полированной поверхности покрытия адгезионный перенос материала относительно низок, что приводит, на начальном этапе трения, к понижению коэффициента

трения, с возрастанием времени трения под воздействием температуры на поверхность покрытия окисляется, что приводит к росту коэффициента трения. Отличия для поверхностей с различной обработкой проиллюстрированы на рис. 8, где показаны скорости изнашивания контртела после 1 м и 100 м скольжения.

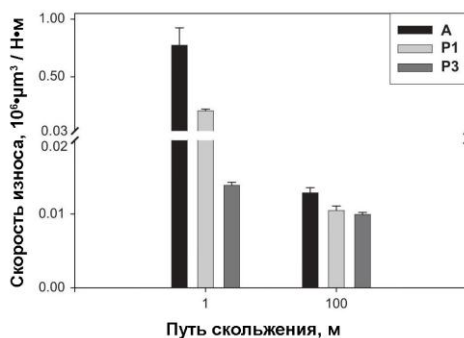


Рисунок 8 – Скорость изнашивания стального контртела при скольжении по полированной (P3), шлифованной (P1), исходной (A) поверхностям покрытия в зависимости от пути скольжения [10]

На рис. 9. показаны контактные поверхности инструментов после точения стали AISI 4140. Авторы отмечают на полированной поверхности уменьшение количества адгезионных налипков обрабатываемого материала, а также уменьшение длины контакта на передней поверхности инструмента со снижением высоты микронеровностей.

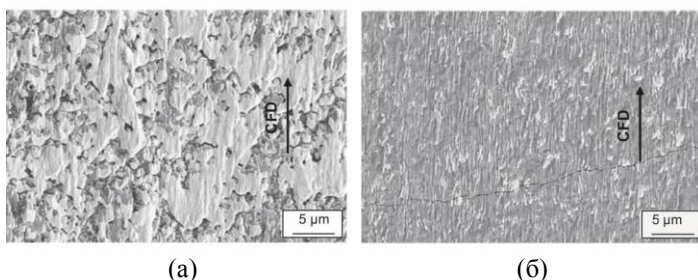


Рисунок 9 – Вид передней поверхности исходного инструмента (а) и полированного (б) после точения стали AISI 4140 [10]

Исследования шлифов стружки показали снижение степени деформации при использовании инструмента с полированной поверхностью, что также

подтверждается различными градиентами твердости в стружке. Кроме того исследования стружки методом EDX-анализа показали, что для неполированного инструмента стружка более окисленная, что свидетельствует о более высокой температуре в зоне контакта.

Применение полированного инструмента также позволяет снизить шероховатость обработанной поверхности с Ra 0,2 для неполированного инструмента и до Ra 0,05 мкм для полированного.

Исследования сил резания показали, что влияние топографии на тангенциальную силу относительно мало, а радиальная сила увеличивается с увеличением микрорельефа инструмента.

По результатам измерения силы резания и расчетов площади контакта, авторы вычислили среднее значение нормальных и касательных напряжений на контактных участках инструмента (рис. 10).

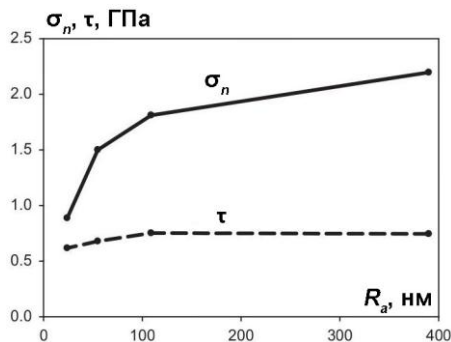


Рисунок 10 – Зависимость нормальных (σ_n) и касательных напряжений (τ) на передней поверхности инструментов в зависимости от высоты микронеровностей на контактном участке [11]

Имеет место увеличение нормальных напряжений при возрастании высоты микронеровностей на передней поверхности инструмента, в то время как касательные напряжения остаются относительно постоянными.

Выводы

Анализ приведенных данных указывает на существование взаимосвязи между топографией контактных поверхностей инструмента и процессами, происходящими в зоне резания. Особенно это характерно для обработки при высоких скоростях резания. Показано, что при использовании инструментов из ПКНБ следы от процесса шлифования, оставленные при его изготовлении, являются источниками зарождения лунки износа на передней поверхности инструмента. Для повышения стойкости инструментов из ПКНБ рекомендуется проводить полировку инструмента для сглаживания таких следов.

Испытания твердосплавных инструментов с покрытием на машине трения показали, что использование полированного инструмента позволяет

уменьшить коэффициент трения и скорость изнашивания на начальном этапе трения за счет уменьшения адгезии с контртелом. С увеличением пути трения указанные эффекты минимизируются вследствие окисления инструмента трибослоев из окисленного материала.

Для неполированного инструмента наблюдается устойчивая тенденция к адгезии с обрабатываемым материалом с увеличением микрорельефа поверхности инструмента. С увеличением пути резания коэффициент трения стабилизируется и имеет значения, характерные для пары трения «метал-метал».

В условиях точения полированная поверхность инструмента характеризуется значительно меньшим налипанием обрабатываемого материала. Изменяется длина контакта стружки с передней поверхностью – увеличивается пластическая и уменьшается упругая зоны контакта. Кроме того уменьшается степень деформации стружки и температура в зоне резания.

При этом авторами не учитывается влияние топографии на задней поверхности инструментов на их стойкость, не приведены данные о стойкости инструментов с различной топографией. Не установлены оптимальные величины высоты микронеровностей на передней и задней поверхности инструментов для повышения стойкости.

Учитывая наличие корреляции между параметрами микрорельефа поверхностей инструментов и процессами в контактных зонах резания, проведение исследований с целью совершенствования их производства режущих инструментов, является актуально научной задачей.

Список использованных источников: 1. Costes J. P., Guillet Y., Poulachon G., Dessoly M. Tool-life and wear mechanisms of CBN tools in machining of Inconel 718 // International Journal of Machine Tools & Manufacture. – 2007. – V. 47. – P. 1081–1087. 2. M'Saoubi R., Johansson M. P., Andersson J. M. Wear mechanisms of PVD-coated PCBN cutting tools // Wear. – 2013. – V. 302. – P. 1219–1229. 3. Chou Y. K. Hard turning of M50 steel with different microstructures in continuous and intermittent cutting // Wear. – 2003. – V. 255. – P. 1388–1394. 4. Diniz A. E., Gomes D. M., Braghini A. Jr. Turning of hardened steel with interrupted and semi-interrupted cutting // Mater. Processing Technol. – 2004. – V. 129, N2. – P. 240–248. 5. Halpin T., Byrne G., Barry J., Ahearne E. The performance of polycrystalline cubic boron nitride tools in continuous, semi-interrupted, and interrupted hard machining // Proc. IMechE. – 2009. – Vol. 223 Part B: J. Engineering Manufacture. – P. 947–953. 6. Seyda V. Tribological analysis of the machinability of compacted graphite iron, industrial production engineering // Lund University. – 2007. 7. Childs T.H.C. Friction modeling in metal cutting // Wear. – 2006. – P. 310–318. 8. Grzesik W. The influence of thin hard coatings on frictional behaviour in the orthogonal cutting process // Tribology International. – № 33 (2000). – P. 131–140. 9. Sugihara T. High Speed Machining of Inconel 718 Focusing on Tool Surface Topography of CBN Tool / T. Sugihara, T. Enomoto // Procedia Manufacturing. – V. 1. – 2015. – P. 675–682. 10. Fallqvist M. Influence of the tool surface micro topography on the tribological characteristics in metal cutting: Part I experimental observations of contact conditions / M.Fallqvist, F.Schultheiss, R.M'Saoubi, M.Olsson, J.-E.Ståhl // Wear. – V. 298–299. – 2013. – P. 87–98. 11. Schultheiss F. Influence of the tool surface micro topography on the tribological characteristics in metal cutting—Part II Theoretical calculations of contact conditions / F. Schultheiss, M. Fallqvist, R. M'Saoubi, M. Olsson, J.-E. Ståhl // Wear. – V. 298–299. – 2013. – P. 23–31.

Поступила в редколлегию 25.06.2018